ISOLATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS AGRICOLES



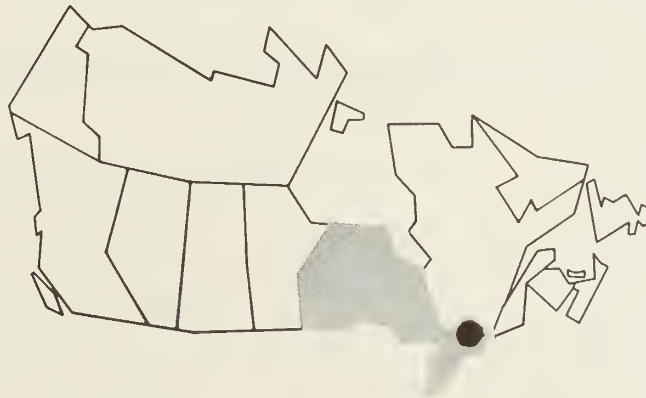
Agriculture Canada

Publication 1601/F



Canada

PUBLICATION FÉDÉRALE/PROVINCIALE



CANADA/ONTARIO

ISOLATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS AGRICOLES

La présente publication est une révision de la publication 96 de l'Ontario. Dans le cadre du programme de publication fédéral-provincial, Agriculture Canada a accepté de l'imprimer.

JOHN E. TURNBULL
Service de recherches techniques
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada
Ottawa

GEORGE F. MONTGOMERY
(anciennement) Institut de recherches techniques et de statistique
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada
Ottawa

AGRICULTURE CANADA
PUBLICATION 1601
RÉVISION 1983

PUBLICATION 1601F, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

N° de cat. A—15—1601 1983F ISBN: 0-662-92245-X
Révision 1983 1M—10:83

Also available in English.

TABLE DES MATIÈRES

ISOLATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS AGRICOLES

L'isolation est devenue un élément important des bâtiments modernes pour le bétail et la volaille. Il est indispensable dans le cas d'entrepôts pour fruits, légumes et aliments congelés.

POURQUOI ISOLER?

L'isolation des bâtiments répond aux besoins suivants ou à certains d'entre-eux:
— réduction de la déperdition de chaleur en hiver (ou de son accroissement en été)
— réduction de la condensation
— résistance au feu (murs coupe-feu, etc.)

Déperditions caloriques

L'isolation a comme premier but de réduire la déperdition calorique d'un bâtiment. Un bâtiment à bétail bien calorifugé peut ne nécessiter qu'un peu ou pas du tout de chaleur en plus de celle dégagée par le bétail lui-même.

L'isolation réduit les pertes de chaleur entraînées par la conduction, la convection, le rayonnement et les fuites d'air.

La ***conduction*** de la chaleur est le phénomène par lequel la chaleur est transmise d'une particule à l'autre par contact. Les matériaux légers comme l'air et les matériaux isolants conduisent beaucoup moins de chaleur que des matériaux plus lourds comme les métaux.

Les pertes par ***convection*** se produisent lorsque de l'air frais circule dans un endroit fermé (comme à l'intérieur d'un mur à montants), absorbe de la chaleur en montant le long d'une surface tiède et la perd en descendant le long d'une surface froide. Le remplissage du vide avec un isolant réduit au minimum le déplacement de l'air.

Les pertes par ***rayonnement*** se produisent lorsque l'énergie calorifique se propage directement à travers un espace ouvert. L'air transmet l'énergie radiante mais les matériaux isolants et les surfaces réfléchissantes l'arrêtent considérablement.

Les ***fuites d'air*** résultent principalement de l'effet du vent qui fait pénétrer de l'air froid du côté exposé d'un bâtiment et entraîne une quantité correspondante d'air tiède à travers le côté opposé. Une construction étanche, dans laquelle des coupe-vapeur étanches sont fixés près de la face intérieure des murs, et des matériaux coupe-vent perméables à la vapeur du côté extérieur réduisent les fuites d'air.

Condensation

La condensation et la détérioration qui en résulte peuvent être un bien plus grand problème pour les murs intérieurs et les plafonds des bâtiments à bétail que pour ceux d'une maison, à cause de l'humidité relative beaucoup plus élevée et de la température intérieure souvent plus basse. L'eau contenue dans l'air de pièces humides se condense sur les surfaces froides des murs et du plafond. Si ces surfaces sont maintenues assez chaudes grâce à une isolation suffisante, l'air qui est en contact avec elles se maintient au-dessus du point de rosée et aucune condensation ne se produit.

La Figure 1 illustre un mur qui, insuffisamment isolé (comme un mur en blocs de béton ordinaires), est couvert de condensation sur sa face intérieure alors que le mur à ossature de bois mais bien isolé demeure chaud et sec. Il est à noter que les températures intérieure et extérieure, ainsi que le niveau d'humidité, sont les mêmes pour les deux murs.

Cependant, la surface intérieure du mur en blocs de béton insuffisamment isolé (à 1°C) est plus froide que le point de rosée (10,5°C) de l'air humide de la pièce. Par contre, la surface intérieure du mur à ossature de bois, bien calorifugée, n'est que légèrement plus froide que l'air de la pièce (13°C comparé à 15°C). Cette température, plus élevée que le point de rosée, n'entraîne pas de condensation.

TYPES D'ISOLANTS

Matériaux isolants

En matelas fibreux

Laine minérale et fibre de verre Ces deux matériaux sont relativement bon marché, ignifuges et très efficaces pour réduire le transfert de chaleur. Ils sont emballés comme des matelas empilés ou roulés, selon leur épaisseur.

Les matelas sont fabriqués en largeurs appropriées pour s'ajuster entre les montants d'une ossature de bois, l'espacement des montants étant de 400 à 600 mm; c'est là une caractéristique importante qu'il faudrait prendre en considération lors de la construction de l'ossature des bâtiments agricoles où l'isolant pourrait être posé soit au moment de la construction soit ajouté par la suite.

Les matelas d'isolants peuvent être recouverts de papier; souvent l'une des faces en papier est étanche et sert en même temps de coupe-vapeur. Il faut poser le matelas de sorte que la surface coupe-vapeur soit du côté intérieur du mur ou du plafond. Ce coupe-vapeur est discontinu et peut facilement être percé par les rongeurs, il et donc recommandé de la doubler d'un autre coupe-vapeur, comme un film de polyéthylène.

L'isolant à ajustement serré constitue une amélioration des matelas calorifuges en fibre de verre. Il est plus élastique et mieux assemblé ce

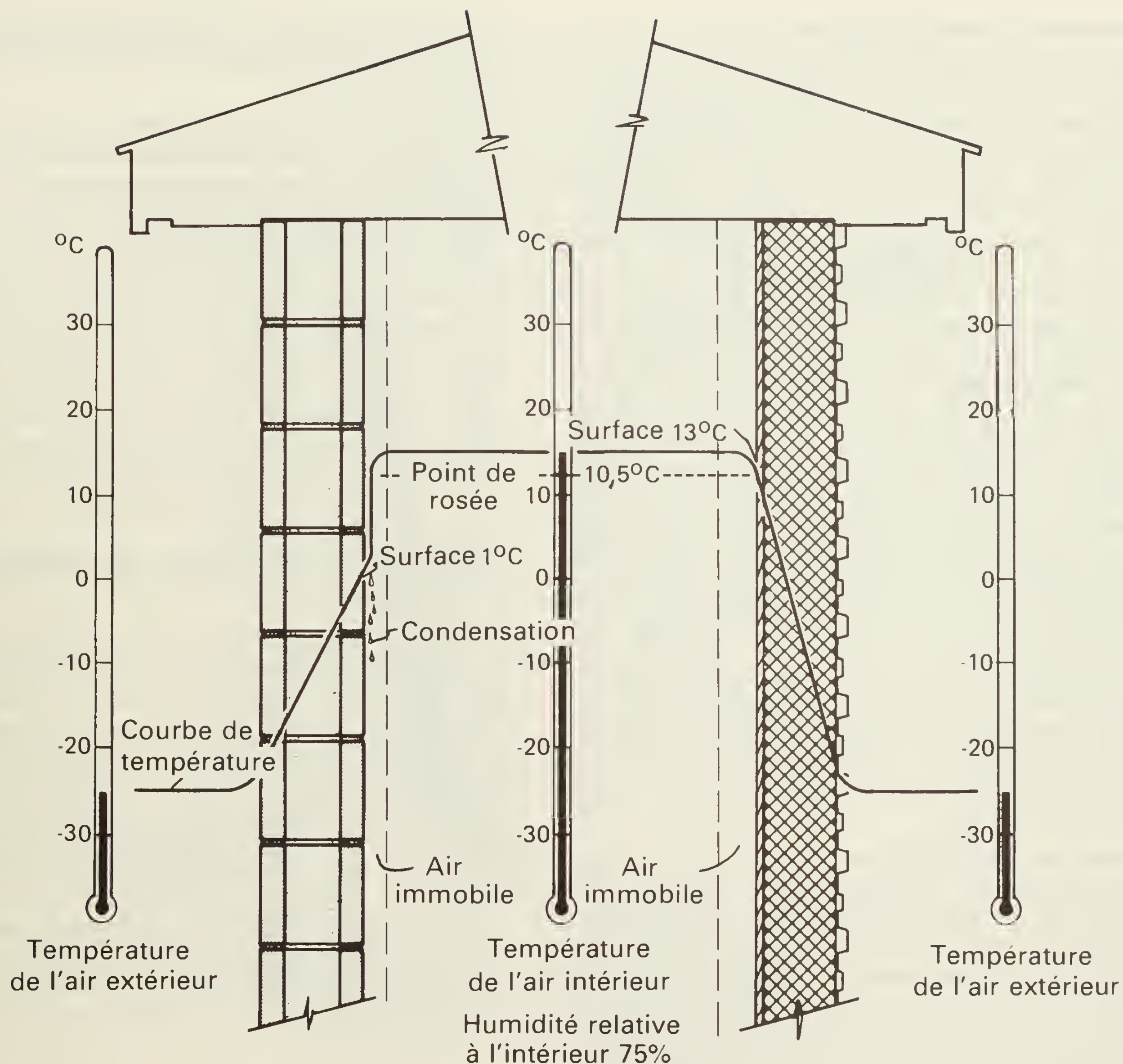


Figure 1 Prévention de la condensation à la surface des murs grâce à une bonne isolation

qui élimine le besoin d'un revêtement de papier. L'isolant à ajustement serré s'ajuste mieux entre les montants et les solives, que les vieux matériaux à revêtement de papier et reste mieux en place. Il n'est pas habituellement muni d'un coupe-vapeur intégré.

En vrac

Laine minérale en vrac Ce calorifuge est disponible en vrac, emballé dans des sacs de papier. Il est plus coûteux au mètre carré que les matelas; son seul avantage est qu'il peut être déversé ou soufflé dans des endroits horizontaux d'accès difficile, comme les attiques où il serait difficile d'installer des matelas.

Vermiculite Le vermiculite est un minéral (mica) qui a été expansé (comme le maïs soufflé) pour devenir un isolant en grains légers. Il s'étend mieux dans des endroits renfermés que la laine minérale en vrac. Il sert parfois à remplir les alvéoles des blocs de béton à agrégats légers afin d'améliorer la résistance thermique des murs en maçonnerie de béton.

Fibre de cellulose La pâte de bois ou le papier journal, macérés, produisent un bon isolant en vrac à condition d'être traité avec des produits ignifuges. Certains isolants de fibre de cellulose traité sont, dit-on, la cause de la corrosion de câbles électriques et d'appareils d'éclairage.

Mousse de polystyrène pulvérisée Les rebuts et les retailles de fabrication de mousse plastique rigide peuvent être granulés et servir d'isolant en vrac. Dans les endroits humides, ce matériau absorbe probablement moins d'humidité que les autres calorifuges en vrac.

En mousse de plastique rigide

Mousse de polystyrène Cette mousse est produite en panneaux "granuleux" ou en panneaux "extrudés". Le panneau granuleux est fabriqué par expansion de granules de polystyrène dans un moule, formant des plaques d'environ 1200 × 2400 mm. Après leur durcissement, les plaques sont tranchées, avec un fil chaud, en feuilles de 13 à 100 mm d'épaisseur. Les panneaux granulés peuvent être utilisés sur le sol sec, comme sous des planchers de béton minces (ex.: salles de mise bas) et comme isolant périmétrique des fondations à condition d'être protégé des intempéries et des rongeurs (voir Figure 2). Le panneau extrudé est plus dense et formé par production de mousse et extrusion continues. Il peut avoir un fini étanche lisse ou, s'il est refendu, présenter une surface cellulaire texturée qui peut servir de base pour le plâtre. Le panneau extrudé résiste mieux à l'eau et à la vapeur d'eau que le panneau granuleux, ce qui le rend plus utile dans les endroits humides. Il sert, par exemple, de volets réglables d'admission d'air pour la ventilation des bâtiments à bétail. Il est également utilisé couramment comme support et isolant sous les planchers en béton qui supportent des charges plus lourdes comme les tracteurs et les chariots-élévateurs.

Mousse de polyuréthane Elle peut être prémoulée en plaques rigides, comme la mousse de polystyrène, ou elle peut être moussée en place pour isoler un bâtiment à murs creux. Elle sert à la fabrication de panneaux sandwich pour bâtiments et d'autres produits comme les réfrigérateurs. À la ferme, l'entrepreneur vaporise habituellement, à l'aide d'un équipement spécial, la mousse à l'état liquide sur les surfaces à calorifuger. Elle mousse et durcit rapidement, puis continue à se dilater très lentement avec le temps. C'est le contraire dans le cas du polystyrène, lequel rétrécit légèrement avec le temps. Le polyuréthane, parce qu'il peut être vaporisé par-dessus les fentes et les aspérités pour former une couche continue, et parce qu'il se dilate avec le temps, produit une membrane étanche. C'est là un avantage, tout spécialement dans les entrepôts à atmosphère contrôlée où l'étanchéité à l'air est nécessaire.

La mousse de polyuréthane est par sa structure similaire à la mousse de polystyrène; toutefois, ses bulles ne sont pas remplies d'air mais de fréon. Comme le fréon est meilleur calorifuge que l'air, la mousse de polyuréthane résiste mieux au passage de la chaleur. Elle est cependant plus coûteuse. La résistance thermique de la mousse de polyuréthane fraîche est plus élevée que celle qui est indiquée au Tableau 1 (voir Appendice) mais, au fur et à mesure que le fréon s'échappe, cette résistance diminue.

L'isolant de polyuréthane et certaines catégories d'isolants au polystyrène présentent un RISQUE D'INCENDIE spécial lorsqu'ils sont laissés à découvert et sans protection (voir la section Protection-incendie).

Mousse d'urée formaldéhyde Elle est produite en mettant une résine d'urée formaldéhyde sous pression d'air avec un agent moussant. Elle peut être injectée dans des endroits inaccessibles ou difficiles d'accès. Elle est légère, avec une masse volumique normale de 11 kg/m. En séchant, elle rétrécit de 3% en volume, la première année. Ce rétrécissement continue pendant une période indéfinie et provoque des fentes et des vides dans l'isolant; c'est pourquoi une norme de l'Office des normes générales du Canada a réduit la cote RSI de cette mousse à 60% de la valeur obtenue en laboratoire. Il y a aussi possibilité de dégagement lent de gaz de formaldéhyde.

Comparaison des valeurs de résistance thermique

La plupart des isolants ont été éprouvés en laboratoire afin de déterminer leur résistance thermique (cote RSI). Plus la cote RSI, par unité d'épaisseur, est élevée, meilleur est l'isolant. La cote RSI de divers matériaux calorifuges est présentée au Tableau 1 (voir Appendice). Le coût approximatif de la plupart des isolants y est également présenté, ainsi que le coût par unité RSI. Cette dernière donnée indique le coût par rapport à l'efficacité de l'isolant; elle est déterminée en divisant le coût du matériau par la cote RSI, à l'épaisseur donnée. Par exemple, pour un isolant en matelas de RSI 2,3, dont le coût est de 1,66 $/m^2, le coût par unité RSI est de 1,66 $/2,3 = 0,72 $/m^2·RSI).

COMBIEN D'ISOLANT UTILISER

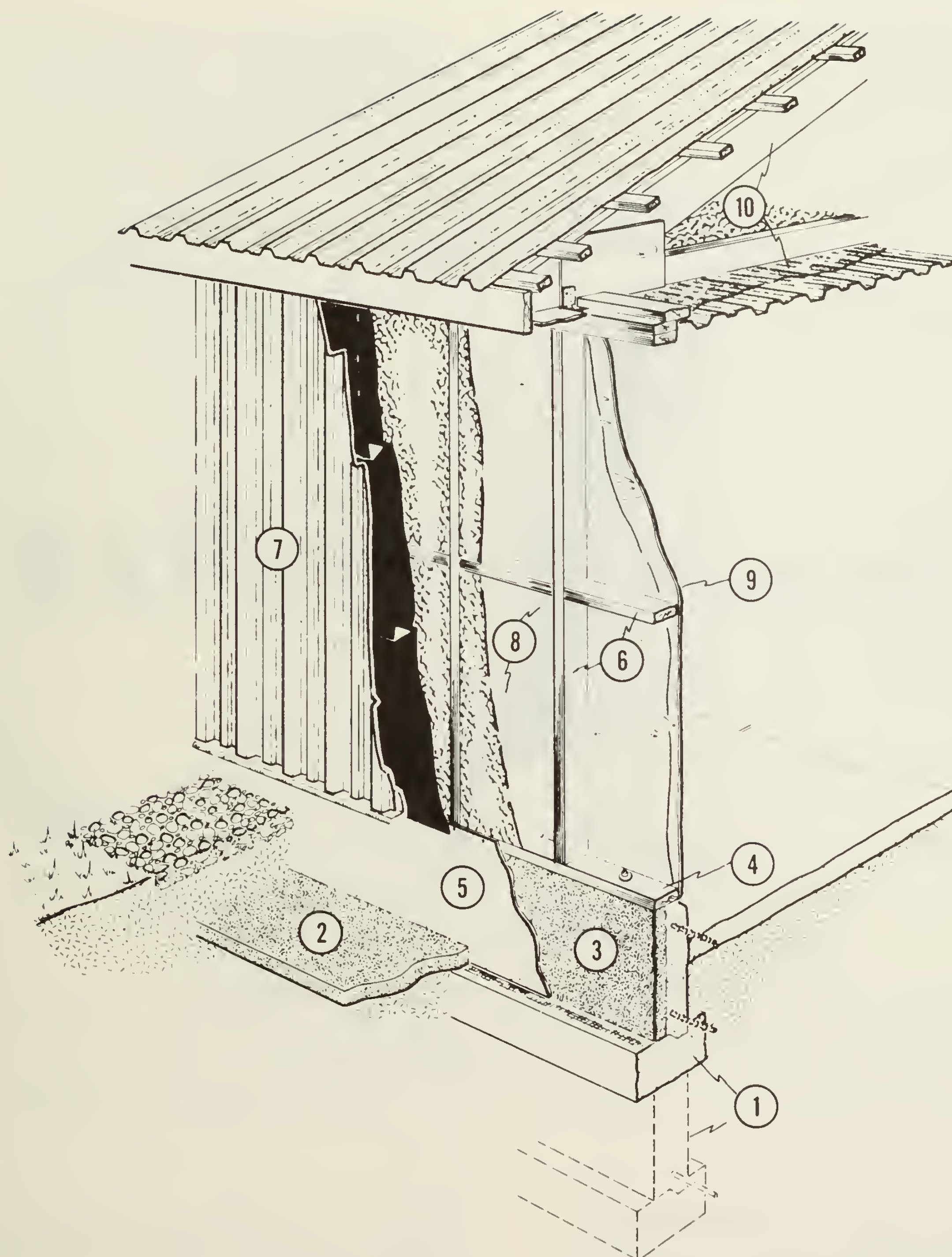
Plusieurs facteurs déterminent la quantité d'isolant à installer dans le plafond, dans les murs et sur le périmètre de la fondation d'un bâtiment agricole.

Épaisseur des murs

Dans les murs de plusieurs bâtiments, l'espace entre le parement intérieur et le parement extérieur limite la quantité d'isolant. De nos jours, la plupart des bâtiments agricoles conventionnels à montants ou à poteaux sont faits de pièces sciées et rabotées de 140 mm, ce qui laisse assez de place pour l'isolation.

Plafonds

L'isolation des plafonds dans les bâtiments à toit soutenu par des fermes (Figures 2 et 3) pourrait dépasser 140 mm d'épaisseur, si on le désire.



1. Semelle profonde ou peu profonde, sous seuil de gel

2. Isolation horizontale périmétrique en polystyrène extrudé 50 × 600 mm, (nécessaire pour semelles peu profondes sous climat froid)

3. Isolation périmétrique en polystyrène extrudé 50 × 550 mm, fixé au coffrage avec des clous à finir avant de couler le béton

4. Lisse traitée sous pression selon l'ACC, 38 × 140 mm, boulons d'ancrage aux 1200 mm

5. Panneaux d'amiante-ciment haute densité 5 × 600 mm, percés et vissés sur (4)

6. Montants 38 × 140 mm aux 600 mm, entremises et sablières assorties

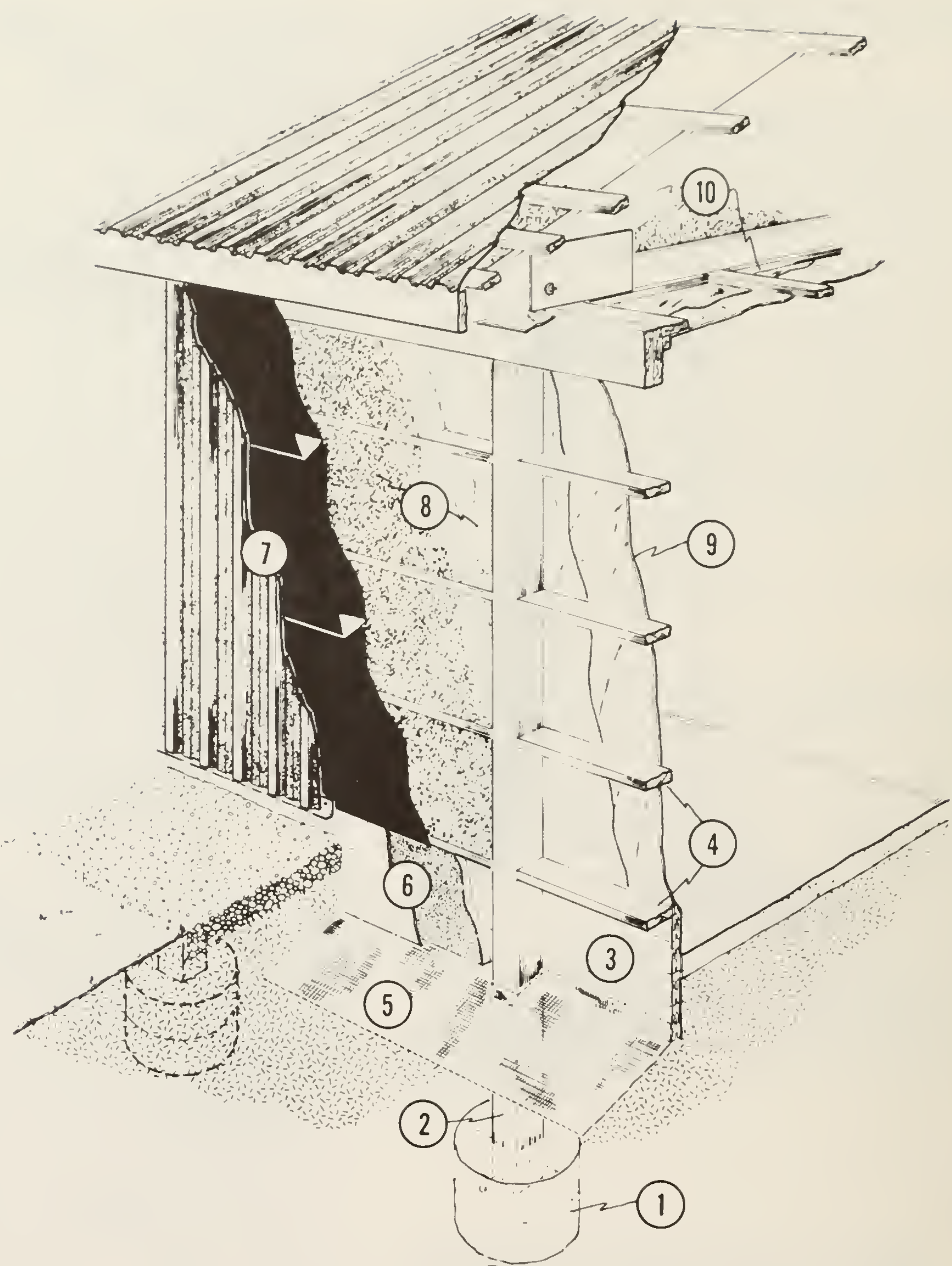
7. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement extérieur en acier, vertical ou horizontal, vissé sur (6)

8. Isolant en fibre de verre posé par friction 140 mm (RSI 3,5), coupe-vapeur en polyéthylène

9. Parement intérieur (contreplaqué horizontal, etc.)

10. Fermes de toit, coupe-vapeur polyéthylène, plafond en tôle d'acier, matériau isolant RSI-3,5 (au moins)

Fig. 2. Construction d'un mur isolé à montants (tiré du plan M-9324, Service des plans du Canada)



1. Socle en béton et ancrage, 750 mm de diam. min., sous seuil de gel

2. Poteau traité sous pression selon l'ACC, 140 × 140 × 4200 mm aux 2400 mm, fixé à (1) par tiges d'acier

3. Planches à rainure et languette, traitées sous pression selon l'ACC, 38 × 144 × 4800 mm, planche supérieure à feuillure pour (9)

4. Entremises 38 × 140 mm clouées en biais entre les poteaux aux 600 mm, entremise inférieure traitée sous pression

5. Treillis métallique galv. 12 × 12 mm pour arrêter les rongeurs

6. Isolation périmétrique optionnelle, polystyrène extrudé 50 × 600 mm, revêtement panneaux d'amiante haute densité 5 mm, entre les poteaux

7. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement extérieur en acier, vertical, vissé sur (4).

8. Isolant en fibre de verre, posé par ajustement serré, 140 mm (RSI-3,5), coupe-vapeur en polyéthylène

9. Parement intérieur (contreplaqué vertical, etc.)

10. Ferme de toit, boulonnée au poteau (2), appuyée sur la sablière, calée sur poteaux encochés

Fig. 3. Construction d'un mur isolé, à poteaux (tiré du plan M-9314, Service des plans du Canada)

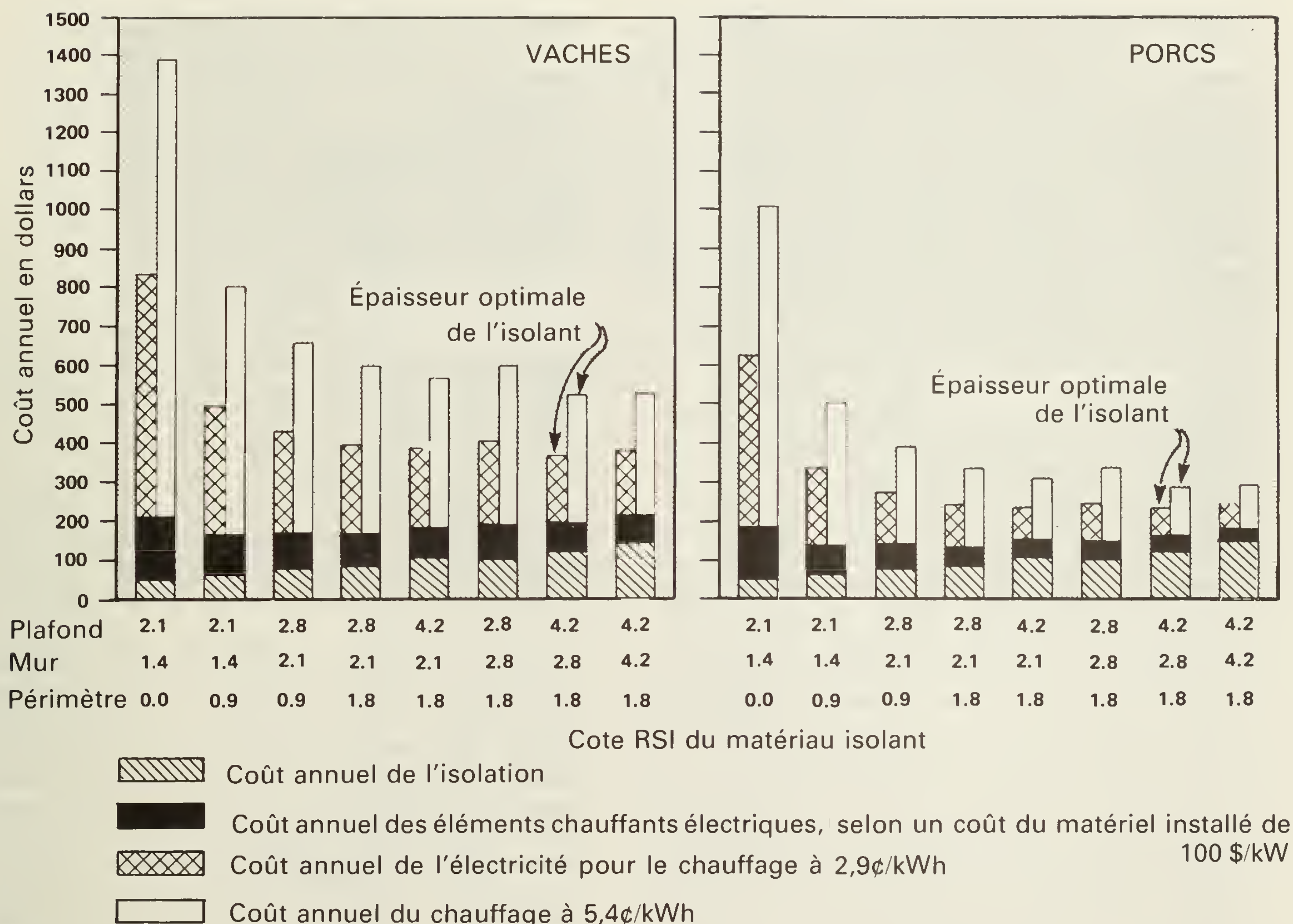


Fig. 4. Coût annuel de l'isolation, du dispositif de chauffage et du chauffage électrique comparé à la quantité d'isolant, basé sur un hiver type à Saskatoon et un bâtiment à ossature à montants et à parement métallique, de 10,8 × 28,8 × 2,4 m, construit selon la Figure 2. Ce bâtiment loge 42 vaches laitières d'un poids moyen de 540 kg à 13°C, ou 420 porcs de 57 kg, prêts pour le marché, à 18°C.

Périmètre de la fondation

Cette partie du bâtiment est le plus souvent oubliée au moment de l'isolation. Dans le cas de nouveaux bâtiments, la meilleure façon est de fixer, à l'aide de clous à finir, des panneaux de polystyrène (en panneaux soit granuleux, soit extrudés et refendus) sur la face intérieure de la partie extérieure du coffrage. Lors de la mise en place du béton, celui-ci se fixe solidement au polystyrène et, lors du décoffrage, les clous passent facilement à travers le polystyrène.

Ce procédé laisse le panneau calorifuge fixé à la face extérieure de la fondation, là où il et le plus efficace pour limiter les pertes de chaleur et les variations de température du béton. Un revêtement extérieur en panneaux d'amiante à haute densité, ou un support d'enduit et un plâtre-ciment, protège l'isolant contre les intempéries et le rongeurs (voir Figure 2).

Condensation

Toujours installer suffisamment d'isolant dans les murs et le plafond pour éliminer la condensation sur le parement intérieur, même si c'est plus que suffisant pour maintenir un équilibre de température (quand la chaleur produite dans le bâtiment égale la chaleur perdue de diverses façons: ventilation, plafond, murs, portes, fenêtres, fondation et plancher). La chaleur peut être produite par les animaux, la respiration des fruits et légumes entreposés ou par un dispositif de chauffage.

Coût annuel minimal

Plusieurs bâtiments agricoles isolés, particulièrement dans les régions les plus froides du Canada, requièrent un dispositif de chauffage additionnel. Ce dispositif maintient la température intérieure lorsque la température extérieure descend telle-

ment que le bétail ou les produits entreposés ne suffisent plus à compenser les pertes de chaleur. Dans un tel cas, il faut décider quelle quantité d'isolant entraînera le coût annuel le moins élevé pour l'isolant, le dispositif de chauffage et l'énergie globalement. En évaluant le coût d'un matériau isolant plus épais, il faut inclure le coût de l'épaisseur supplémentaire de la charpente que cela entraîne parfois. Bien que le coût du dispositif de chauffage et de l'isolation fassent partie du coût de construction initial, il faut les répartir sur la durée utile du bâtiment pour en arriver à un coût annuel. La Figure 4 montre dans quelle mesure les coûts du dispositif de chauffage, de l'isolation et du chauffage électrique varient avec l'épaisseur de l'isolant d'un bâtiment agricole type. On y trouve des exemples pour des installations de vaches laitières et de porcs à l'engrais. Il est à noter que le coût total est réduit au minimum avec la quantité optimale de calorifuge et tend à augmenter avec des quantités supérieures ou inférieures. Dans les deux exemples, basés sur le coût d'énergie électrique de 2,9 ¢/kWh, les meilleurs résultats sont obtenus avec des résistances thermiques de 4,2 pour le plafond, 2,8 pour les murs et 1,8 pour le périmètre de la fondation (50 mm de polystyrène).

Si le coût de l'énergie continue à augmenter, il devient d'autant plus important qu'un bâtiment soit bien isolé. L'augmentation du coût de l'électricité à 5,4 ¢/kWh (barres blanches) rend un bâtiment insuffisamment isolé beaucoup plus dispendieux. Il faut noter cependant qu'il n'y a aucun avantage réel à augmenter la cote RSI de l'isolant des murs de 2,8 à 4,2, puisque les montants de 140 mm, illustrés à la Figure 2, ne sont pas assez larges pour loger le matériau additionnel.

Noter également à la Figure 4, que l'économie réalisée en posant moins d'isolant est pratiquement supprimée par le coût additionnel du chauffage électrique. Cela peut être différent s'il s'agit de chauffage au gaz naturel, au mazout ou au propane, puisqu'un gros dispositif de chauffage coûte moins cher par unité de capacité qu'un dispositif plus petit.

MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX ISOLANTS

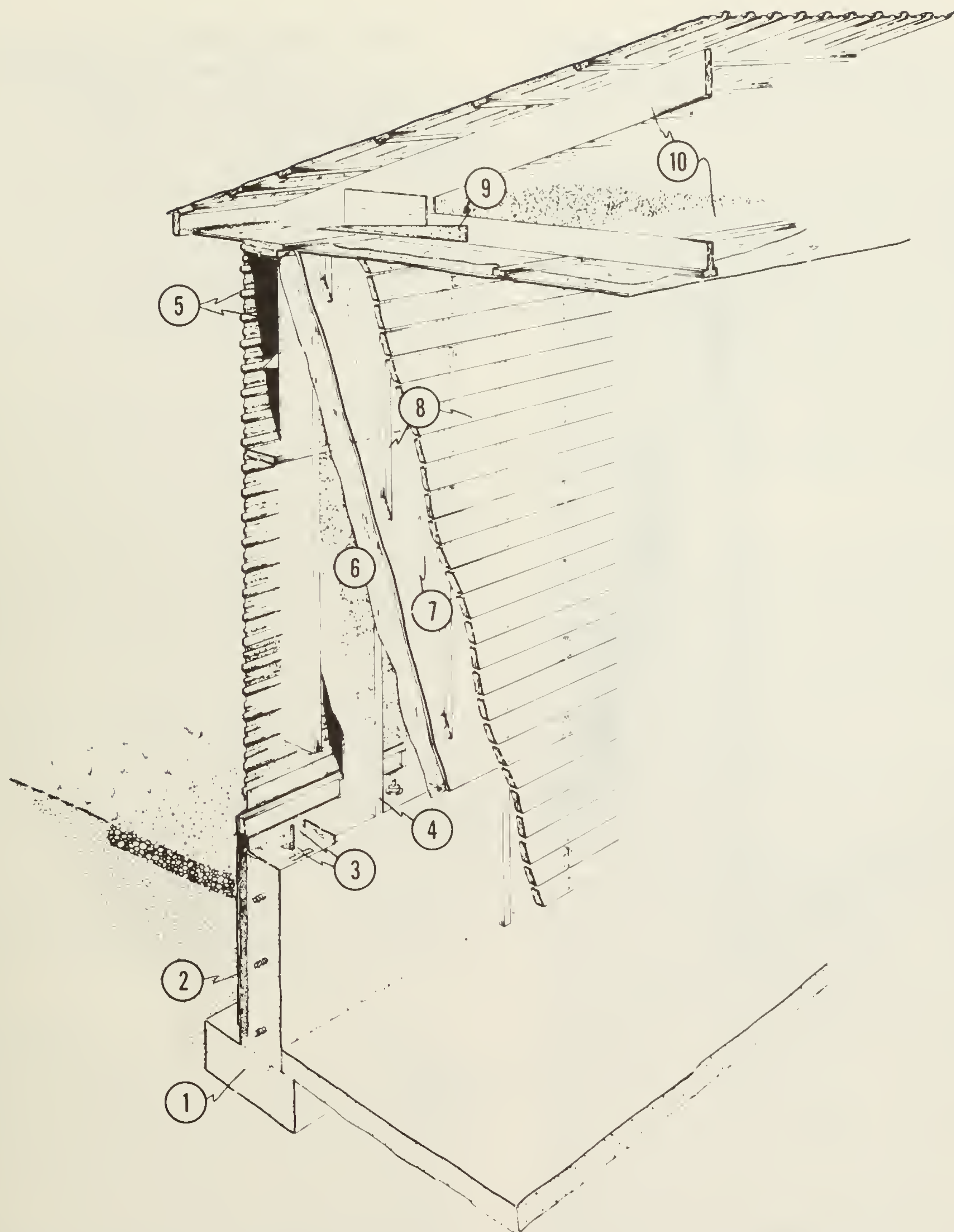
Méthodes de pose

Les Figures 2 et 3 présentent des installations types d'isolants dans deux types communs de bâtiments de ferme. La Figure 2 montre des panneaux de polystyrène rigides de 50 mm, fixés au mur de fondation lors de la mise en place du béton, et protégés par des panneaux d'amiante-ciment. Des matelas à ajustement serré sont enfoncés entre les montants de 38 × 140 mm des murs et entre les fermes du plafond. Le mur à poteaux de la Figure 3 comporte à sa base des planches à rainure et languette, traitées sous pression, selon l'ACC. L'isolation périmétrique de polystyrène et le revêtement en panneaux d'amiante ⑥ sont optionnels, puisque le bois est considérablement plus chaud que le béton. Cependant, le coût supplémentaire en est probablement justifié dans les régions où l'hiver est très froid, ou lorsque des bâtiments doivent être plus chauds (par ex.: salles de mise bas ou d'élevage de poussins). Dans la partie supérieure du mur à poteaux, les matelas à ajustement serré sont assujettis sur leur longueur entre les entremises de 38 × 140 mm entre les poteaux sciés et espacés de 600 mm verticalement. Les poteaux sont habituellement espacés de 2400 mm.

Les murs des entrepôts où les fruits et légumes sont emmagasinés sur palettes, peuvent être à poteaux (Figure 3) ou à montants (Figure 2) et isolés avec des matelas (voir la partie "coupe-vapeur"), du polystyrène ou du polyuréthane.

Si l'entrepôt est à atmosphère contrôlée, la mousse de polyuréthane peut être posée directement sur les murs et le plafond, ce qui offre à la fois l'isolation et l'étanchéité. Les murs peuvent être à montants ou à poteaux ou en blocs de béton. Les constructions à arceaux d'acier sans ossature servent aussi à cet usage, mais la pose de la mousse directement sur le métal peut entraîner l'accumulation d'humidité dans l'isolant et provoquer des défauts d'adhérence. Couvrir le polyuréthane à découvert d'un fini ignifuge, et bien obturer le pourtour des appareils d'éclairage et des portes, le bas des murs, etc. Le Code national du bâtiment prescrit une protection ignifuge de 15 minutes. Dans les endroits où le Code canadien de construction des bâtiments agricoles (1983) le permet, cette protection peut être constituée d'un parement intérieur en contreplaqué ou en acier galvanisé, avec un matériau isolant collé directement, sans espace d'air, au parement. La façon la plus facile de réaliser ceci est de vaporiser le polyuréthane sur la face *extérieure* du parement *intérieur* (Construction "à l'envers", décrite plus loin).

Les murs des entrepôts pour légumes en vrac doivent être solides, à ossature à montants larges, espacés de façon à résister à la pression des produits empilés contre les murs. Ces murs peuvent être isolés avec des matelas, des panneaux de polystyrène ou de la mousse d'uréthane vaporisée. À moins que l'entrepôt ne soit réfrigéré, la température de l'entrepôt sera rarement plus froide que la température extérieure; l'isolant peut donc être constitué de matelas de fibre de verre économiques avec un coupe-vapeur intérieur comme l'indique la Figure 5. Voir de plus amples renseignements sur l'entreposage en vrac des pommes de terre dans la publication n° 1508 d'Agriculture Canada.



1. Semelle et fondation sous seuil de gel, à armatures selon pressions du sol et des produits stockés

2. Isolation périmétrique en polystyrène extrudé, 50 × 1200 mm, fixée aux coffrages avec des clous à finir avant de couler le béton

3. Cornière en acier et boulons d'ancrage maintenant la lisse et les montants contre les pressions des produits stockés

4. Montants 38 mm, largeur et espacement selon hauteur d'entreposage

5. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement extérieur en acier, vertical ou horizontal, vissé sur (4)

6. Isolant en fibre de verre, mis en place par ajustement serré, coupe-vapeur en polyéthylène

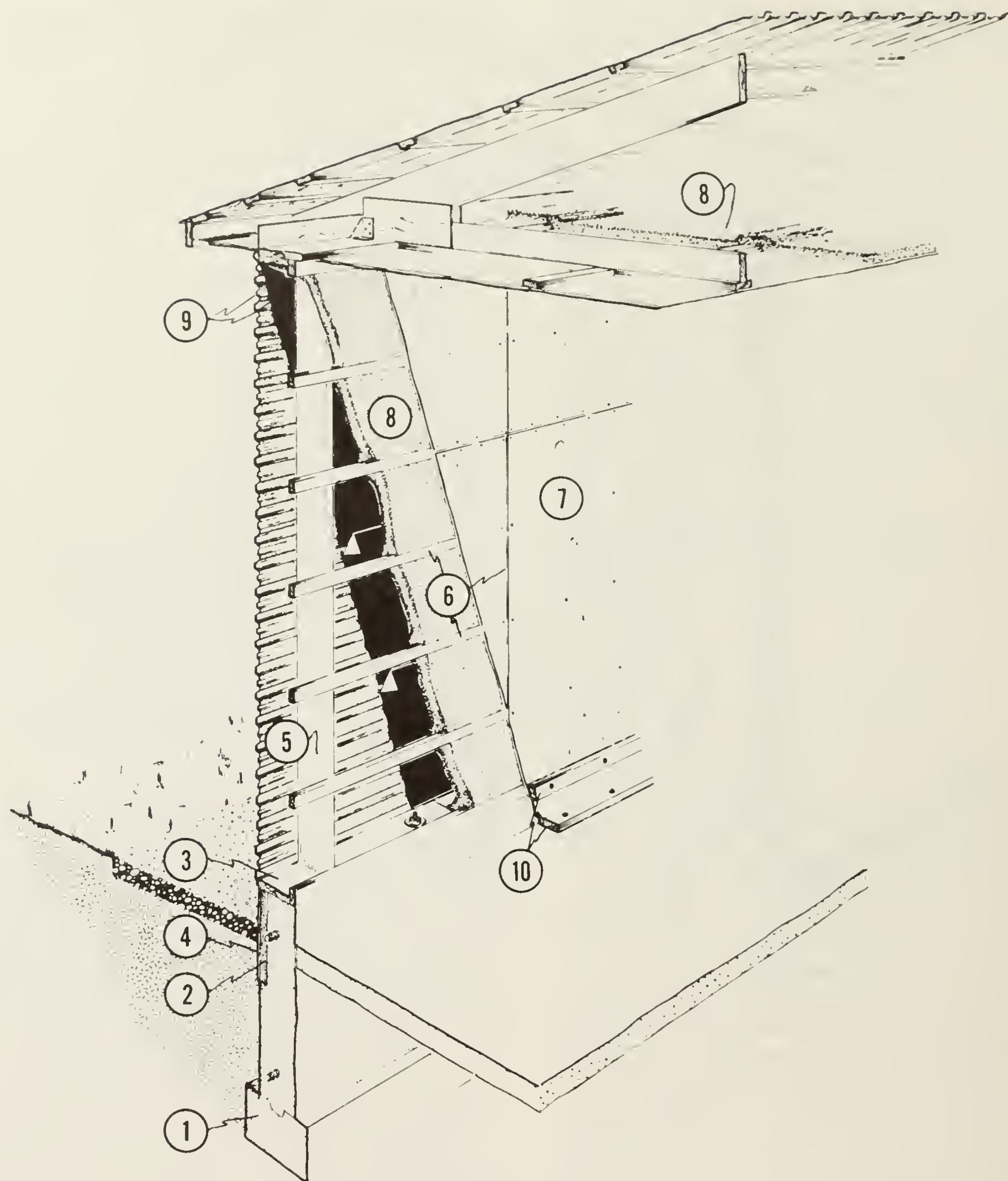
7. Contreplaqué de bois mou, catégorie parement extérieur 7,5 mm

8. Fonds de clouage 38 × 38 mm et lattes espacées de 19 mm pour séparer les produits du mur froid et humide

9. Bandes d'ancrage en acier galvanisé pour fixer les murs aux fermes afin de résister aux pressions des produits stockés

10. Fermes du toit, coupe-vapeur polyéthylène, plafond en contreplaqué, isolant RSI-3,5 (min.)

Fig. 5. Construction d'un mur type à montants de bois pour entrepôt à légumes en vrac (tiré du plan M-6110, Service des plans du Canada)



1. Semelle et fondation en béton, sous le seuil de gel

2. Isolation périmétrique de polystyrène extrudé 50 X 550 mm, fixé aux coffrages avec des clous à finir avant de couler le béton

3. Lisse traitée sous pression 38 mm, boulons d'ancrage aux 1200 mm

4. Panneau d'amiante-ciment haute densité 5 × 600 mm, percé et vissé sur (3)

5. Montants 38 mm aux 1200 mm, largeur selon hauteur du mur et de la pression de calcul du vent

6. Fond de clouage 38 × 64 mm aux 600 mm.

7. Parement intérieur en contreplaqué de sapin, densité moyenne, préfini, 11 mm; attaches galvanisées, joints de 2 mm, clous et joints recouverts d'un calfeutrage de caoutchouc de silicone

8. Isolation: 75 mm (min.) de mousse polyuréthane vaporisée de l'extérieur et dans le comble par beau temps

9. Coupe-vent en feutre bitumineux, parement acier extérieur horizontal, vissé sur (5)

10. Membrane d'étanchéité, calfeutrée et fixée au plancher et au mur

Fig. 6. Construction d'un mur d'entrepôt à atmosphère contrôlée (AC) pour fruits et légumes dans des caisses-palettes (tiré du plan M-6113, Service des plans du Canada)

Isolation du toit des bâtiments à bétail, non chauffés

Il n'est pas nécessaire de chauffer tout l'hiver les bâtiments à ventilation naturelle pour le bétail bovin et ovin, mais il faut quand même un peu d'isolant sous l'acier de couverture pour que le givre ne s'y accumule pas au cours des nuits froides d'hiver. Durant la nuit, tout va bien mais, le matin, le soleil chauffe la couverture et fait fondre le givre. L'humidité nuisible mouille alors la charpente du bâtiment et dégoutte des chevrons sur le bétail et la litière.

Dans le passé, une des façons de solutionner le problème consistait à placer un panneau calorifuge en polystyrène de 25 mm, entre les pannes en bois du toit et la couverture en acier, ce qui réglait à merveille le problème de l'égouttement du matin mais qui comportait deux désavantages sérieux. Les oiseaux faisaient de grands trous dans le polystyrène mou, partout où ils pouvaient se percher et la mousse plastique apparente constituait un risque élevé d'incendie. Cette solution n'est donc pas recommandée.

Une solution à l'égouttement, plus sécuritaire et plus durable, consiste à poser sous l'acier un revêtement de contreplaqué d'extérieur, bon marché. S'il faut plus d'isolant, un ensemble sandwich de couverture, préfabriqué et isolé, a été mis au point par le Service des plans du Canada (voir dessin M-9302). Cet ensemble comprend un plafond en contreplaqué, un coupe-vapeur, des pannes en bois sur rive, un isolant de fibre de verre entre les pannes et finalement la couverture en acier.

Coupe-vapeur

L'isolation sert à maintenir un écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. L'air chaud contient normalement beaucoup plus d'humidité (au poids) que l'air froid, ce qui entraîne une différence de pression de vapeur. L'humidité tend à s'infiltrer à travers les matériaux de construction, du côté chaud vers le côté froid, et à se condenser dans l'isolant, à chaque point où la température baisse suffisamment pour atteindre le point de rosée. Les isolants en matelas ont une résistance thermique plus basse lorsqu'ils sont humides et tendent à s'affaisser à cause du poids. Même l'isolant de mousse plastique peut absorber un peu d'eau et perdre de sa résistance thermique.

Afin de réduire l'humidification de l'isolant, installer un coupe-vapeur du côté chaud. Le coupe-vapeur peut être une feuille de polyéthylène transparent de 0,1 mm (4 mils) ou une feuille d'aluminium avec renfort de papier. Utiliser des rouleaux larges afin de réduire le nombre de joints au minimum. Brocher la feuille en place et faire les joints à chevauchement aux montants et autres éléments de charpente. L'emplacement du coupe-vapeur est très important. Dans le cas des bâtiments à bétail chauffés, il est à l'intérieur, dans le cas des entrepôts *froids* pour aliments congelés, le coupe-vapeur est à l'extérieur.

Les entrepôts *froids* réfrigérés, pour fruits et légumes, présentent un cas tout particulier. Ces entrepôts sont maintenus à des températures de 0 à 7°C alors que la température extérieure peut être plus froide en hiver mais considérablement plus chaude en été. Dans ce cas, il est difficile d'établir où poser le coupe-vapeur. Il ne faut pas en poser des deux côtés de l'isolant car l'humidité pourrait être retenue entre les deux coupe-vapeur. La meilleure règle est de poser le pare-vapeur du côté qu'on peut considérer "chaud" lorsque l'écart de température est le plus grand entre l'extérieur et l'intérieur sur une bonne partie de l'année.

Exemple: un entrepôt à Brighton (Ontario), et maintenu à 0°C, alors que la température de calcul en hiver est de −22°C et que la température de calcul en été est de 30°C. En janvier, la température de l'entrepôt serait de 22°C supérieure à la température extérieure, mais en juillet, elle serait de 30°C inférieure; le coupe-vapeur doit donc être à l'extérieur de l'isolant.

Une solution préférable dans le cas des entrepôts froids consiste à utiliser l'un des isolants à mousse plastique les plus résistants à l'humidité, comme le polyuréthane, sans coupe-vapeur.

Un problème spécial survient lorsqu'un isolant de polyuréthane est vaporisé sur la face intérieure d'un bâtiment à paroi d'acier simple, pour en faire un bâtiment chaud pour le bétail ou un entrepôt d'aliments à température contrôlée. L'enveloppe d'acier du bâtiment agit en tant que coupe-vapeur efficace du côté froid (mauvais côté) de l'isolant. La vapeur d'eau produite par le bétail ou les légumes s'accumule dans l'isolant pendant tout l'hiver. Cette accumulation d'humidité réduit la résistance thermique d'un isolant déjà coûteux (voir Tableau 1) et dangereux, et dans les cas extrêmes, peut entraîner le décollage et la chute de la mousse. Une meilleure façon de procéder consiste à poser des fonds de clouage en bois, espacés de 600 mm, sur la paroi intérieure du bâtiment, puis d'isoler avec des matelas recouverts d'un coupe-vapeur et d'un revêtement.

Il est recommandé de poser un coupe-vapeur perméable à la vapeur d'eau (habituellement du feutre bitumineux) sous le parement extérieur des bâtiments, particulièrement aux endroits où le parement est en tôle et le coupe-vapeur est à l'intérieur de l'isolant. Ce coupe-vapeur bitumineux peut empêcher la pluie poussée par le vent, ou les courants d'air froid de passer à travers le parement extérieur, tout en permettant à la vapeur d'eau de s'échapper du mur.

Protection-incendie

Les mousses de polyuréthane et le polystyrène sont souvent posées de façon apparente, à l'intérieur de bâtiments agricoles modernes. Ces mousses, surtout le polyuréthane, ont cependant contribué à de nombreux incendies désastreux sur les fermes. Certains types de mousse polyuréthane, très combustibles, s'enflamment et brûlent lorsque exposés à la flamme ou aux étincelles. Le feu se propage à toute la surface très rapidement et dégage une fumée noire, dense et toxique ainsi que des gaz chauds.

La mousse de polystyrène fond lorsqu'elle est exposée à la chaleur, et produit des gouttes de plastique fondu qui s'accumulent en flaques et qui peuvent s'enflammer si elles sont exposées à la chaleur assez longtemps pour éliminer leur traitement ignifuge.

Plusieurs mousses sont aujourd'hui traitées avec des additifs ignifuges qui peuvent empêcher la mousse de s'enflammer au contact d'une allumette ou d'une cigarette. Un "essai" pour vérifier les propriétés ignifuges d'une telle mousse pourrait cependant avoir des résultats désastreux. Il faut donc considérer toutes les mousses, même celles qui sont traitées avec un additif, comme combustibles et les manipuler en tant que tel.

Le Code national du bâtiment interdit l'utilisation de mousse plastique apparente comme isolant, à l'intérieur d'un bâtiment; la mousse doit être recouverte d'un "écran thermique" approuvé comme le contreplaqué ou un revêtement ignifuge spécial.

Construction “à l'envers”

Un cas spécial est fait cependant pour le polyuréthane moussé en place en tant qu'isolant et membrane d'étanchéité combinée, pour les entrepôts d'aliments réfrigérés ou à atmosphère contrôlée. Dans ce cas, une technique améliorée consiste à construire le bâtiment “à l'envers”. La charpente est érigée et le parement intérieur (contreplaqué ou acier galvanisé) y est fixé. Le polyuréthane est alors moussé de l'extérieur entre les éléments de l'ossature, contre le parement intérieur. Finalement, le parement extérieur (acier galvanisé habituellement) est vissé en place pour offrir une protection contre les intempéries et les rongeurs. Le seul désavantage de cette méthode est qu'elle nécessite une période de temps sec et chaud avant et pendant la pose de l'isolant. Si l'entrepôt doit être à atmosphère contrôlée, le parement étanche intérieur est habituellement du contreplaqué à densité moyenne préfini, avec joints et trous de clous calfeutrés avec un produit de calfeutrage de haute qualité comme le caoutchouc de silicone (voir dessin M-611 du Service des plans du Canada).

Plafonds poreux

La ventilation au moyen d'un plafond poreux sert à minimiser les problèmes de condensation par temps froid dans les bâtiments à bétail à ambiance contrôlée. Ces plafonds sont particulièrement efficaces dans les régions les plus froides du Canada où le bétail ne fournit pas assez de chaleur pour qu'un dispositif conventionnel de ventilation fonctionne.

Le plafond peut être poreux dans une proportion variant de un quart à deux tiers. L'une des méthodes fait appel à une couche de paille ou de foin sec, en vrac, comme isolant de comble, supportée par un plafond à panneaux espacés. Selon une autre méthode, l'isolant apparent du plafond est supporté par un grillage à volaille. L'air tiré du comble ventilé, vers les stalles du bétail, par les ventilateurs, se réchauffe en traversant l'isolant poreux. En même temps, l'humidité et les odeurs s'échappent vers le haut à travers les panneaux espacés ou le grillage à volaille et l'isolant poreux. L'humidité, une fois dans le comble, est dispersée vers l'extérieur par le vent qui passe à travers les fentes de ventilation des débords de toit et des pignons. Pour que le plafond poreux fonctionne bien, le comble doit être si bien ventilé que l'air y soit presque comme à l'extérieur. Cependant, il faudrait alors empêcher le vent de pousser la neige fine par les grandes ouvertures de ventilation.

Rongeurs

Il faut empêcher les rats et les souris d'endommager l'isolation périmétrique ou de pénétrer dans les murs et le comble. La plupart des matériaux isolants n'ont aucune valeur nutritive pour les rats et les souris qui peuvent quand même les gratter ou les ronger, s'y nicher et causer des dommages considérables. Le coût et les efforts additionnels pour protéger un bâtiment agricole contre les rongeurs sont justifiés par la prévention de la perte de résistance thermique, de l'accroissement des fuites d'air et du gaspillage des aliments du bétail ainsi que par l'augmentation de la consommation.

La Figure 2 illustre une façon de protéger l'isolation périmétrique contre les rongeurs. S'assurer que les parements intérieurs et extérieurs sont bien posés ne laissant aucun interstice entre le mur et le plancher, surtout au niveau du sol. Poser des solins en acier le long des bords des panneaux muraux à motif profond pour empêcher les rongeurs d'entrer et ne laisser aucun bord apparent de parement de bois à découvert qu'ils pourraient ronger pour pénétrer à l'intérieur. Prendre soin de ne laisser aucune chance aux rats ou aux souris d'accéder au comble, par les murs latéraux ou d'extrémité. Finalement, s'assurer que le creux des murs est bloqué à intervalles réguliers par des entremises qui servent aussi de cloisons anti-rongeurs.

APPENDICE

Calcul de la cote RSI et des déperditions caloriques des bâtiments agricoles types

La résistance thermique totale (RSI) d'un bâtiment donné est la somme des résistances de toutes les épaisseurs de matériaux, y compris les espaces vides.

L'exemple suivant fait la démonstration du calcul de la cote RSI totale pour le bâtiment illustré à la Figure 2. Noter qu'une résistance thermique (f_i) est incluse pour la mince couche d'air immobile sur la surface intérieure des murs. Une résistance thermique f_o est également incluse pour la couche d'air extérieure, mais sa valeur est moindre que f_i à cause de l'effet de balayage du vent. D'autres facteurs, comme la rugosité de la surface, la température et la réflexion de la lumière influent sur la résistance thermique réelle des surfaces. Le Tableau 1 comprend des valeurs f_i et f_o types.

Évaluation de la résistance thermique (RSI) du plafond, du mur, de la fondation et du plancher de la Figure 2

	cote RSI (selon Tableau 1)
Plafond	
Couche d'air intérieure, résistance de la surface (f_i)	0,03
Plafond en contreplaqué de 7,5 mm	0,05
Coupe-vapeur en polyéthylène	0,0
Isolant en matelas de fibre de verre RSI 3,5	3,5
Couche d'air immobile, résistance de la surface (f_i) au comble	0,11
Cote RSI totale du plafond =	3,69
Mur	
Couche d'air intérieure, résistance de la surface (f_i)	0,12
Parement intérieur, contreplaqué de 9,5 mm	0,08
Coupe-vapeur en polyéthylène	0,0
Isolant en matelas de fibre de verre RSI-3,5	3,5
Espace d'air vertical — coupe-vent bitumineux	0,21
Tôle extérieure	0,0
Couche d'air extérieure, résistance de la surface	0,03
Cote RSI totale du mur =	3,94

Mur de fondation (perte entre le plancher de béton et le bas du mur à montants)

Résistance de la surface intérieure (f_i)	0,12
Béton 150 mm, 0,150 × 0,55 =	0,08
Isolant rigide en polystyrène de 50 mm, 0,05 × 24,7 =	1,24
Panneau d'amiante-ciment comprimé, haute densité, 5 mm	0,01
Résistance de la surface extérieure (f_o)	0,03
Cote RSI totale de la fondation =	1,48

Plancher

Plancher en béton sur le sol	1,76
Cote RSI totale du plancher =	1,76

Le taux de déperdition de chaleur H d'une surface de bâtiment peut être calculé en watts à l'aide de la formule suivante $H = A(T_i - T_o)/RSI$, dans laquelle A est la surface en m^2, RSI est la résistance thermique totale, T_i est la température intérieure et T_o, la température extérieure, le tout en mesures métriques.

La perte de chaleur (H_p) du périmètre d'une dalle de plancher en béton à travers la fondation, doit être calculée d'une autre façon puisque la surface par laquelle la chaleur s'échappe n'est pas clairement définie. Le *U.S. National Bureau of Standards* suggère d'utiliser le facteur F (perte périmétrique, différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ($T_i - T_o$), en °C) et le périmètre (P, en mètres) du bâtiment. L'isolation des premiers 300 mm sous le niveau du sol est la plus importante, bien qu'un peu de chaleur se perde encore sous ce niveau.

La formule pour calculer la perte de chaleur du périmètre est

$$H_p = PF\,(T_i - T_o)$$

où H_p = perte de chaleur du périmètre, W
P = périmètre du bâtiment, m
F = facteur de perte de chaleur du périmètre, W/(m·°C) (voir Tableau 3)
T_i = température intérieure, °C
T_o = température extérieure, °C

Exemple

Quelle est la perte de chaleur (ventilation non comprise) d'un bâtiment à bétail de 10,8 × 21,6 × 2,4 m, dont les murs et le plafond sont isolés comme à la Figure 2, lorsque la température est de 18°C à l'intérieur, de −23°C à l'extérieur et que celle du sol est de 10°C?

(Pour fins de calcul, les dimensions intérieures sont évaluées à 10,5 m × 21,3 m et le mur de fondation est établi à 300 mm de hauteur.)

Perte de chaleur du plafond H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
(10,5 × 21,3)(18 – (– 23))/3,69 = 2485 W

Perte de chaleur du mur H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
2 × 2,4 × (10,5 + 21,3)(18 – (-23))/3,95 = 1588 W

Perte de chaleur du mur de fondation H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
0,3 × 2(10,5 + 21,3)(18 – (– 23))/1,48 = 528 W

Perte de chaleur du périmètre du plancher H =
$PF(T_i - T_o)$ =
2(10,5 + 21,3)(0,43)(18 – (– 23)) = 1121 W

Perte de chaleur du plancher au sol H =
$A(T_i - T_o)/RSI$ =
(10,5 × 21,3)(18 – 10)/1,76 = 1017 W

Perte de chaleur totale du bâtiment = 6739 W

Il est à noter que dans l'exemple précédent, il n'y a pas de fenêtres dans le bâtiment (lesquelles sont des points importants de perte de chaleur). Les pertes de chaleur par les portes n'ont pas été calculées non plus. Les bâtiments perdent de la chaleur par les fuite d'air proportionnellement à l'étanchéité de leur construction; dans les bâtiments agricole avec ventilateurs, cette fuite d'air est habituellement considérée comme partie des besoins en ventilation.

Dans les résidences et autres bâtiments sans ventilation commandée, la partie de la perte de chaleur totale, due aux fuites d'air, peut facilement excéder la perte de chaleur par conduction à travers les murs.

TABLEAU 1 RÉSISTANCE THERMIQUE ET COÛTS DES MATÉRIAUX D'ISOLATION COURANTS

	Cote RSI[a]				
Matériau	Épaisseur (mm)	Par épaisseur indiquée	Par mètre d'épaisseur	Coût approximatif[b] $\$/m^2$	Coût par unité de cote RSI $\$/(m^2 \cdot RSI)$
Laine minérale ou fibre de	25	0,65	25,7		
verre en matelas (y compris	64	1,1		1,30	0,80
type recouvert de papier et	90	1,3		1,66	0,72
à ajustement serré, masse	100	2,6		1,95	0,75
volumique 24-62 kg/m^3	150	3,5		2,80	0,80
Papier macéré	100	2,5	25,0	1,55	0,62
Fibre de cellulose (coton, pâte de papier, etc.)	1000		25,0		0,64
Vermiculite dilaté (masse volumique 64-96 kg/m^3)	1000		15,7		0,77
Sciure sèche ou rognures de bois (masse volumique 130-240 kg/m^3)	1000		15,4		
Paille (coupée, sèche)	1000		9,9		
Panneaux de liège			25,7		
Mousse de polystyrène					
Panneaux granuleux (masse volumique 16 kg/m^3)	25	0,61	24,7	1,50	2,46
Panneaux extrudés (masse (volumique 29-35 kg/m^3)	25	0,69-0,87	27,7-34,7	2,80	4,06-3,22
Mousse de polyuréthane (posée sur place, masse	25	1,04[c]	41,5[c]	5,30[d]	5,10[d]
volumique 24-40 kg/m^3)	50	2,08[c]		10,60[d]	5,10[d]

[a] Les résistances thermiques (cotes RSI) proviennent du Code canadien de construction de bâtiments agricoles 1977 et d'autres sources.

[b] Ces prix ne sont indiqués que pour faciliter la comparaison. Voir un fournisseur de matériaux de construction pour plus de renseignements sur les prix actuels.

[c] Il s'agit de cotes "vieillies" de la mousse vaporisée et ces cotes peuvent continuer à diminuer avec le vieillissement de l'uréthane. Certains fabricants prétendent que leurs produits ont des cotes RSI beaucoup plus élevées grâce aux gaz de moussage (fréon habituellement) enfermés dans la mousse au cours de la fabrication. Étant donné qu'avec le temps, l'air dont la résistance thermique est moindre tend à remplacer le fréon, les résistances annoncées ne peuvent pas être maintenues à moins que les faces de l'isolant ne soient scellées en usine avec un matériau étanche à l'air comme une feuille métallique.

[d] Le coût de l'installation est inclus. Ne pas comparer directement avec le coût d'autres matériaux sans y ajouter d'abord le coût de l'installation.

TABLEAU 2 RÉSISTANCES THERMIQUES DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION TYPES, DES ESPACES D'AIR, DES FENÊTRES ET DES PLANCHERS DE BÉTON

Matériaux	Épaisseur (mm)	Cote RSI à l'épaisseur indiquée	Cote RSI par mètre d'épaisseur
Papiers et panneaux de construction			
Panneaux d'amiante	5	0,01	
Contreplaqué de sapin	9	0,08	
Panneaux gaufrés de tremble (Aspenite, etc.)	6	0,08	
Panneaux de fibre (Ten-test, etc.)	12	0,23	
Feutre bitumineux		0,01	
Coupe-vapeur en polyéthylène	100 μm	0,00	
Construction à ossature			
Revêtement de bois et papier de construction	19	0,20	
Idem, plus parement chevauché		0,35	
Parement chevauché ou bardeaux de bois		0,14	
Parement en pin ou en sapin massif	25	0,22	
Matériaux de couverture			
Feutre et bitume (couvertures multicouches)	9	0,06	
Bardeaux d'asphalte		0,08	
Béton et maçonnerie			
Béton armé ou non (masse volumique 2240 kg/m³)	200	0,11	0,55
Béton léger masse volumique 1900 kg/m³	200	0,26	1,32
1280 kg/m³	200	0,55	2,77
640 kg/m³	200	1,19	5,96
480 kg/m³	200	1,54	7,69
320 kg/m³	200	1,98	9,91
Blocs de béton alvéolés	200	0,20	
Blocs de béton alvéolés remplis de vermiculite	200	0,32	
Blocs légers (schiste, argile, ardoise, béton de laitier ou pierre ponce)	200	0,35	
Idem, remplis de vermiculite	200	0,70	

(à suivre)

TABLEAU 2 (SUITE)

Matériaux	Épaisseur (mm)	Cote RSI à l'épaisseur indiquée	Cote RSI par mètre d'épaisseur
Résistances superficielles			
f_o pour mur extérieur (vent de 24 km/h)		0,30	
f_i pour surface intérieure (pas de vent)			
plafond (surface horizontale)		0,11	
mur (surface verticale)		0,12	
Espace d'air vertical (dans un mur de 20 mm ou plus épais)		0,21	
Fenêtres (y compris résistance de l'espace d'air et des surfaces)			
Un panneau de verre vertical		0,16	
Deux panneaux de verre verticaux, espace d'air 12 mm		0,32	
Deux panneaux de verre verticaux, espace d'air 25 mm ou plus		0,33	
Plancher de béton — de 150 mm au-dessus du plancher jusqu'au sol (écart de température 11°C)		1,76	

TABLEAU 3 FACTEURS TYPES DE PERTE DE CHALEUR AU PÉRIMÈTRE DU PLANCHER

Description du périmètre du plancher	Facteur F (Perte de chaleur périmétrique)
Béton ordinaire non isolé	1,42
Béton ordinaire isolé à l'extérieur jusqu'à 300 mm sous le niveau du sol avec un matériau isolant rigide cote RSI = 0,7	0,85
Béton ordinaire isolé à l'extérieur jusqu'à 300 mm sous le niveau du sol avec un matériau isolant rigide cote RSI = 1,4	0,43

FACTEURS DE CONVERSION

Unités anglaises	*X*	*Facteur de conversion*	= *Unités métriques*
$R \frac{(h \cdot ft^2 \cdot °F)}{(BTU)}$		0,176	$RSI \frac{(m^2 \cdot K^*)}{(W)}$
¢/pi²		0,108	$/m²
¢(pi²·R)		0,611	$/(m²·RSI)
R par unité d'épaisseur:			
$R \frac{(h \cdot pi^2 \cdot °F)}{(BTU \cdot in)}$		6,934	$RSI \frac{(m^2 \cdot K^*)}{(W \cdot m)}$
Facteur de perte de chaleur périmétrique par unité de longueur:			
$F \frac{(BTU)}{(h \cdot °F \cdot ft)}$		0,001556	$F \frac{(W)}{(K \cdot m)}$

* Le facteur K est l'unité d'intervalle de température et est équivalent à un écart de température de 1°C.